

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/064283 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>:

G01F

(71) Anmelder: ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP2004/053023

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:

19. November 2004 (19.11.2004)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KONZELMANN, Uwe [DE/DE]; Schwalbenweg 14, 71679 Asperg (DE). LANG, Tobias [DE/DE]; Elisabethenstr. 32, 70197 Stuttgart (DE).

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(74) Gemeinsamer Vertreter: ROBERT BOSCH GMBH; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

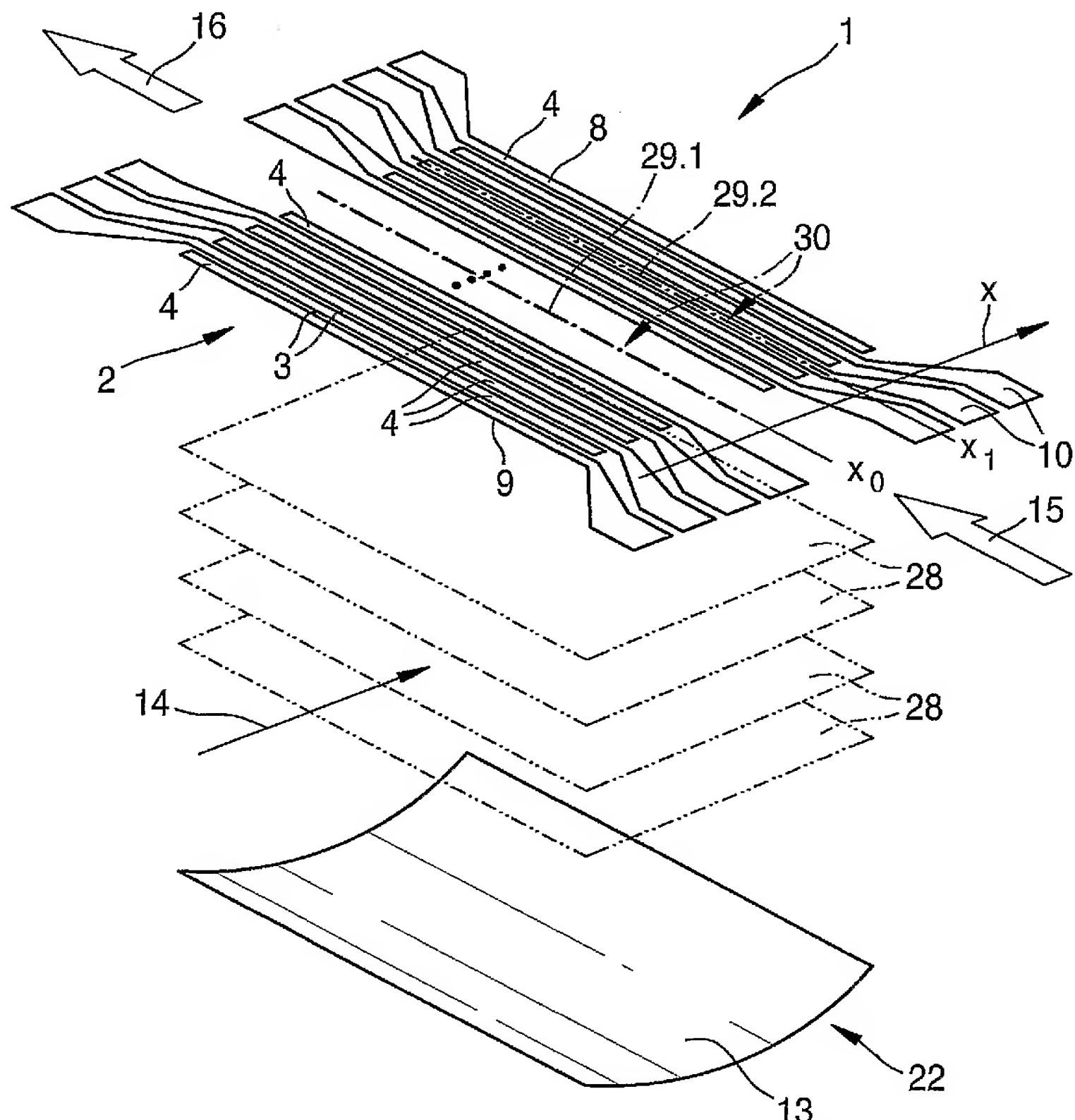
(30) Angaben zur Priorität:

103 61 763.9 29. Dezember 2003 (29.12.2003) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ULTRASONIC FLOW SENSOR COMPRISING STAGGERED TRANSMITTING AND RECEIVING ELEMENTS

(54) Bezeichnung: ULTRASCHALLSTRÖMUNGSSENSOR MIT VERSCHRÄNKTEM SENDE- UND EMPFANGSELEMENTEN



verschränkte Anordnung von  
**WO 2005/064283 A2**

(57) Abstract: The invention relates to an ultrasonic flow sensor for measuring the volumetric flow of a flowing medium through a flow channel (24). Said sensor comprises a transducer array (2), which is located in the flow cross-section of the flow channel (24) and which generates ultrasonic waves (27) that are propagated in the flow cross-section of the flow channel (24) transversally to the flow direction (14) of the flowing medium. According to the invention, the ultrasonic transducer array (2) has a staggered arrangement of transducer elements (4), which act alternately as transmitting (10) and receiving antennae, in such a way that all emitted individual sonic waves (27) interfere to form common wave fronts (28).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf einen Ultraschallströmungssensor zur Messung des Volumenstromes eines strömenden Mediums durch einen Strömungskanal (24), mit einem Wandlerarray (2), welches innerhalb des Strömungsquerschnittes des Strömungskanals (24) angeordnet ist und welches Ultraschallwellen (27) generiert, die sich im Strömungsquerschnitt des Strömungskanals (24) quer zu einer Strömungsrichtung (14) des strömenden Mediums ausbreiten, wobei ein Ultraschall-Wandlerarray (2) einer

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

- (84) **Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,

EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## Ultraschallströmungssensor mit verschränkten Sende- und Empfangselementen

10

### Technisches Gebiet

Mittels Durchflussmessern wird der Luftdurchsatz im Ansaug- bzw. Ladetrakt einer Verbrennungskraftmaschine gemessen. Da es bei dem chemischen Vorgang der Verbrennung auf die Massenverhältnisse von Kraftstoff und Luft zueinander ankommt, ist der Massendurchfluss der Luft im Ansaug- /Ladetrakt der Verbrennungskraftmaschine zu messen, wozu auch Volumen- oder Staudruckmessende Verfahren herangezogen werden. Der maximal zu messende Luftmassenfluss liegt je nach Motorleistung im Bereich zwischen 400 und 1200 kg pro Stunde. Aufgrund des niedrigen Leerlaufbedarfes moderner Verbrennungskraftmaschinen beträgt das Verhältnis von minimalem zu maximalem Luftdurchsatz zwischen 1: 90 und 1:100.

### Stand der Technik

Aus dem Kraftfahrttechnischen Taschenbuch/ Bosch 23., aktualisierte und erweiterte Auflage – Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1999, ISBN 3-528-03876-4 Seite 115 ist eine Ultraschall- Durchflussmessanordnung bekannt. Mittels dieser Anordnung lässt sich die Laufzeit  $t$  eines Schallimpulses durch ein Messmedium wie zum Beispiel Luft unter einem Schräglungswinkel  $\alpha$  mit derselben Messstrecke  $l$  einmal stromaufwärts und einmal stromabwärts messen. Die resultierende Laufzeitdifferenz ist dem Volumendurchfluss proportional.

Aus dieser Literaturstelle, vgl. Seite 115, rechte Spalte, dortige Abbildung ist ein Strömungskanal bekannt, in dessen Wandungen zwei einander zugewandte Sensoren angeordnet sind. Die Stirnseiten, von denen aus die Schallimpulse ausgesamt werden, weisen einander zu.

Aus dem Stand der Technik sind ferner Ultraschall- Strömungssensoren bekannt, die den Strahlverwehrungseffekt innerhalb eines strömenden Mediums ausnutzen, um Strömungsge-

schwindigkeiten zu messen. Ferner sind aus dem Stand der Technik mikromechanische oder folientechnisch hergestellte Ultraschallwandler oder Wandler bekannt.

### Darstellung der Erfindung

5

Erfindungsgemäß wird eine alternierende Anordnung eines Ultraschallwandlers vorgeschlagen, die in der Weise abwechselnd als Sende- und Empfangs- Antennen wirken, dass alle emittierten Einzelschallwellen zu gemeinsamen Wellenfronten interferieren. Der schlagende Vorteil der alternierenden Anordnung liegt in einem dadurch erzielten deckungsgleichen, 10 gegenseitig verschränkten Sende- und Empfangsbereich. Dadurch wird in Kombination mit einer einzelnen Ultraschallreflektion innerhalb eines Strömungskanales eine zueinander symmetrische Sende - und Empfangscharakteristik erreicht. Die funktionale Aufteilung des Ultraschallwandlers in Sende- und Empfangselemente ermöglicht dabei eine wirksame Trennung zwischen schwachen Sendesignalen und den starken Empfangssignalen, deren 15 Amplituden sich um mehrere Größenordnungen unterscheiden können. Die Symmetrie bzgl. Senden und Empfangen ermöglicht direkte Ultraschall- Rückreflektionen an einer symmetrisch zum Wandlerarray ausgerichteten Fläche, ohne dass beim Senden Phasenverschiebungen zwischen den einzelnen Wandlerelementen erforderlich sind.

20 Das erfundungsgemäß vorgeschlagene Wandlerarray kann beispielsweise aus einem Siliziumsubstrat mit mikromechanisch gefertigten Trenngräben zwischen den einzelnen Wandlerelementen zur gegenseitigen Entkopplung gefertigt werden. Auf dem Siliziumsubstrat sind streifenförmige Elektroden aufgebracht, über denen eine PVDF- Folie (Polyvinylidenfluorid) als Dickenschwinger aufgetragen wird. Die Folie ist auf der Oberseite mit einer flächigen 25 Gegenelektrode und einer Versiegelung zum mechanischen Schutz versehen. Die Sendeelemente des erfundungsgemäß vorgeschlagenen Ultraschall- Wandlers sind außerhalb des Wandlerarrays elektrisch direkt miteinander kontaktiert und mit einem Oszillatoren verbunden. Dadurch vermögen die Sendeelemente phasengleich Ultraschallwellen auszusenden. Die Einzelwellen interferieren zu gemeinsamen Wellenfronten, die in erster Näherung eben sind 30 und sich dadurch quer zum strömenden Medium ausbreiten. Die gegenüberliegende Wandung des Strömungsrohrs ist mit einem Krümmungsradius gewölbt, der bevorzugt dem doppelten Rohrdurchmesser entspricht, durch welchen das strömende Medium strömt. Aufgrund dieser Anordnung werden die Ultraschallwellen am Ort des Wandlerarrays näherungsweise zu einem Linienfokus kollimiert, dessen Position linear von der Geschwindigkeit 35 des strömenden Mediums abhängt und den Volumenstrom angibt. Da sich kein idealer Linienfokus ergibt, wird das Empfangselement mit der größten empfangenen Intensität bestimmt. Dies erfolgt mit Hilfe eines Komparators und eines Sample & Hold-Verstärkers, die beide durch Operationsverstärker realisiert werden können.

Zeichnung

Anhand der Zeichnung wird die Erfindung nachstehend eingehender beschrieben.

5 Es zeigt:

- Figur 1 ein gegenüber einer gewölbten Reflexionsfläche angeordnetes verschränktes Sende- und Empfangs Wandlerarray,
- 10 Figur 1.1 eine Ausführungsvariante einer Auswerteschaltung,
- Figur 2 eine mögliche Anordnung des Wandlerarrays innerhalb eines Strömungsrohres, wobei der Krümmungsradius der Reflexionsfläche dem doppelten des Rohrdurchmessers entspricht,
- 15 Figur 3 die Ausbildung einer strömungsbeschleunigenden Rohverengung durch die Anordnung des Wandlerarray,
- Figur 4 einen Schnitt durch ein Wandlersubstrat, auf dem das Wandlerarray ausgebildet ist,
- 20 Figur 5 interferierende Ultraschallwellen und
- Figur 6 eine mögliche Ausprägung interferierender Wellenfronten, die mit einer gewölbten Reflexionsfläche zusammenwirken.
- 25

Ausführungsvarianten

- 30 Ein in Figur 1 dargestelltes verschränktes Wandlerarray ist Bestandteil eines Ultraschall-Strömungssensors 1. Das dargestellte verschränkte Wandlerarray wird vorzugsweise aus einem Siliziumsubstrat gefertigt. Einzelne Wandlerelemente 4 des verschränkten Wandlerarrays 2 sind durch Trenngräben 3 voneinander entkoppelt. Die Trenngräben 3 werden mikromechanisch gefertigt. Auf dem das verschränkte Wandlerarray 2 darstellenden Siliziumsubstrat (vgl. Figur 4, Position 11) befinden sich streifenförmige Elektroden. Die streifenförmigen Elektroden 5 sind mit einer PVDF-Folie 6 (Polyvinylidenfluorid) abgedeckt, die als Dickenschwinger dient. Die PVDF-Folie 6 (Polyvinylidenfluorid) wird auf ihrer Oberseite mit einer flächigen Gegenelektrode 7 und einer Versiegelung 12 zum mechanischen Schutz versehen. Die Versiegelung 12 kann beispielsweise aus Epoxidharz oder Silikon
- 35

gefertigt werden, während die Gegenelektrode 7 bevorzugt aus Gold oder Aluminium gefertigt ist. Die streifenförmig ausgebildeten Elektroden 5 können aus Aluminium, Gold oder Platin gefertigt werden, während es sich bei dem Trägersubstrat für das Ultraschall-Wandlerarray 2 bevorzugt um ein Siliziumsubstrat handelt. In einer Ausführungsvariante, die zeichnerisch nicht dargestellt ist, können Abschirmungselektroden zwischen den Sendebeziehungsweise Empfangselektroden des Ultraschall-Wandlerarrays 2 vorgesehen werden, wodurch sich nicht nur eine mechanische, sondern auch eine elektrische Kopplung erreichen lässt. Unter einem Sendeelement 10 (vgl. Darstellung in Figur 4) gehören das Siliziumsubstrat 11, eine streifenförmige Elektrode 5, ein Bereich der PVDF-Folie 6, ein Bereich der Gegenelektrode 7 sowie gegebenenfalls auch die auf diese aufgebrachte Versiegelung 12. Ein Bereich erstreckt sich auf die Region zwischen je zwei benachbarten Trenngräben 3.

Mit Bezugszeichen 10 sind die Sendeelemente des verschränkten Wandlerarrays 2 in der Darstellung gemäß Figur 1 bezeichnet.

15

Sämtliche Sendeelemente 10 sind außerhalb des verschränkt ausgebildeten Wandlerarrays 2 elektrisch direkt miteinander kontaktiert. Die Sendeelemente 10 sind darüber hinaus mit einem Oszillator 26 verbunden, so dass die Aussendung phasengleicher Ultraschallwellen möglich ist.

20

Wie aus der Darstellung gemäß Figur 1 weiterhin hervorgeht, ist das verschränkt ausgebildete Wandlerarray 2 senkrecht zur Strömungsrichtung 14 des strömenden Mediums orientiert. Dem verschränkten Wandlerarray 2 gegenüberliegend befindet sich eine gewölbt ausgebildete Reflektionsfläche 13. (Vgl. auch Darstellung gemäß Figur 2).

25

Das gesendete Signal ist mit Bezugszeichen 15 identifiziert, während das empfangene Signal durch Bezugszeichen 16 gekennzeichnet ist. Die von den Sendeelementen 10 des verschränkten Wandlerarrays 2 ausgehenden phasengleichen Ultraschallwellen 27 interferieren zu gemeinsamen Wellenfronten 28. Die Interferenzerscheinungen sind abhängig von dem räumlichen und zeitlichen Verlauf der Ultraschallwellen durch Auslenkungen der Moleküle in der Luft.

Die zu Wellenfronten 28 interferierenden Ultraschalleinzelwellen 27 sind in erster Näherung eben und breiten sich daher relativ gerichtet quer zum strömenden Medium, das in Strömungsrichtung 14 strömt, aus. Die sich ausbreitenden gemeinsamen Wellenfronten 28 fallen auf eine gegenüberliegende Wandung eines Strömungsrohres 17, welches einen Krümmungsradius 19 aufweist. Der Krümmungsradius 19 entspricht bevorzugt dem doppelten Rohrdurchmesser 20 des Strömungsrohres 17 ( $r = 2d$ ). Aufgrund der Krümmung 23 der Reflexionsfläche 13 werden die sich ausbreitenden Wellenfronten 28 am Ort des verschränk-

ten Wandlerarrays 2 näherungsweise zu einem Linienfokus 29 kollimiert. Die Position 30 des Linienfokus 29 hängt linear von der Geschwindigkeit des in Strömungsrichtung 14 strömenden Mediums ab. Aufgrund des linearen Zusammenhangs zwischen Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums und der Position 30 des Linienfokus 29 kann auf 5 den Volumenstrom des strömenden Mediums, welcher das verschränkte Wandlerarray 2 passiert, direkt geschlossen werden. Da sich in der Regel kein idealer Linienfokus 29 einstellt, wird dasjenige der Empfangselemente ermittelt, welches die größte empfangene Intensität des Ultraschallsignales aufweist. In Figur 1 ist ein erster Linienfokus 29 an der Stelle  $X_0$  eingezeichnet, welcher sich ohne strömendes Medium einstellt. Entlang der X-Achse 10 verschiebt sich der erste Linienfokus 29.1 an die mit Bezugszeichen 29.2 gekennzeichnete Stelle (vgl. Position  $x_1$  an der X-Achse). Die Auslenkung des Linienfokus' von Position 29.1 in 29.2 beruht auf der Auslenkung durch das in Strömungsrichtung 14 strömende Medium. Mit Bezugszeichen 28 sind die sich in Richtung auf eine gewölbte Reflexionsfläche 13 ausbreitenden, interferierenden Wellenfronten bezeichnet.

15

Figur 1.1 ist in schematischer Weise eine Auswerteschaltung zu entnehmen. Die Auswerteschaltung gemäß der Darstellung in Figur 1.1 umfasst einen Signal-Multiplexer 34, der mit dem verschränkten Wandlerarray 2 verbunden ist. Dem Signal-Multiplexer 34 ist eine Signalaufbereitung 36 nachgeschaltet sowie ein Komparator 31. Mit Hilfe des Komparators 31 20 und einem Sample and Hold-Verstärker 32, der ebenfalls als Operationsverstärker ausgebildet sein kann, lässt sich dasjenige der Empfangselemente mit der größten empfangenen Ultraschallsignalintensität bestimmen. Der Signal-Multiplexer 34 lässt sich über eine Multiplexer-Steuerung 35 ansteuern. Mit  $U_1$  ist das Eingangsspannungssignal, welches am verschränkten Wandlerarray 2 abgegriffen wird, bezeichnet; mit  $U_2$  das ausgangsseitig am 25 Sample and Hold-Verstärker 32 anliegende Spannungssignal. Alternativ kann auch der Schwerpunkt der Intensitätsverteilung ermittelt werden, die sich über sämtliche streifenförmige Elektroden 5 des verschränkten Wandlerarrays 2 des Ultraschallströmungssensors 1 einstellt.

30 Figur 2 ist ein Querschnitt durch ein Strömungsrohr zu entnehmen, in welchem ein erfundungsgemäß vorgeschlagenes verschränktes Ultraschall- Wandlerarray aufgenommen ist.

Das Strömungsrohr 24 ist durch eine Wandung begrenzt und weist einen Durchmesser 18 auf (vgl. d). In die Wandung des Strömungsrohrs 24 ist die Reflexionsfläche 13 integriert, 35 die eine Krümmung 23 aufweist. Der Krümmungsradius 19 der Reflexionsfläche 13 beträgt bevorzugt das Doppelte des Rohrdurchmessers 18. Das verschränkte Wandlerarray 2 ist in der Darstellung gemäß Figur 2 in eine Wandung des Strömungsrohrs 24 integriert. Die Strömungsrichtung des strömenden Mediums, dessen Durchflussrate beziehungsweise Vo-

lumenstrom zu ermitteln ist, ist durch Bezugszeichen 14 angedeutet und verläuft in der Darstellung gemäß Figur 2 von rechts nach links.

Mit Bezugszeichen 17 ist ein Hilfskreis bezeichnet, welcher einen Radius von etwa dem 5 Doppelten des Durchmessers 18 des Strömungsrohres 24 aufweist. Der Hilfskreis 17 dient dazu, die Krümmung der gewölbt ausgebildeten Reflexionsfläche 13 anzudeuten. Der Darstellung gemäß Figur 2 sind die vom verschränkten Wandlerarray 2 ausgehenden differierenden Wellenfronten 28 zu entnehmen, die sich auf die in der Krümmung 23 ausgebildete gewölbte Reflexionsfläche 13 zubewegen, ebenso wie die von dieser an die Empfangselemente 10 des verschränkten Wandlerarrays 2 reflektierten Wellenfronten 28.

Figur 3 zeigt eine Ausbildungsvariante eines verschränkten Wandlerarrays mit einer strömungsbeschleunigenden Rohrverengung.

Aus der Darstellung gemäß Figur 3 geht hervor, dass das verschränkte Wandlerarray 2 in 15 einer Fläche innerhalb der Rohrwandung des Strömungsrohres 24 aufgenommen ist, welches in einer Krümmung 23 ausgebildet ist. Die Krümmung 23 bilden eine Flächenvertiefung innerhalb der Rohrwandung des Strömungsrohres 24, so dass der Strömungsquerschnitt zwischen der Unterseite 9 des verschränkten Wandlerarrays 2 und der Oberseite der Reflexionsfläche 13 verengt ist, angedeutet durch den Abstand 25  $d_1$ , der kleiner ist als der in Figur 2 dargestellte Abstand 18  $d$  zwischen der Strömungsrohr 24 und der Oberseite der in 20 die Wandung integrierten Reflexionsfläche 13. Mit der in Figur 3 dargestellten Ausführungsvariante ergibt sich eine Querschnittsverengung innerhalb des Strömungsrohres 24, so dass sich der Krümmungsquerschnitt unterhalb des verschränkten Wandlerarrays 2 insgesamt verengt und die Strömung in Strömungsrichtung 14 beschleunigt wird. Dadurch kann 25 eine Ablagerung von Partikeln wie zum Beispiel Staub oder dergleichen an der Innenseite der Wandung des Strömungsrohres 24 sowie an der Unterseite 9 des verschränkten Wandlerarrays 2 wirksam unterbunden werden.

Auf die Ausbildung einer Wölbung in der Reflexionsfläche 13 zur Herbeiführung einer 30 Strahlkollimierung kann dann verzichtet werden, wenn die einzelnen Wandlerelemente des Ultraschall-Strömungssensors phasenverzögert so angeregt werden, dass der Gangunterschied zwischen den einzelnen Ultraschallwellen 27 eine gekrümmte oder flach ausgebildete Wellenfront 28 ergibt (vgl. Figuren 5 und 6). Weisen diese Wellenfronten 28 direkt nach 35 ihrer Emission einen Krümmungsradius auf, der doppelt so groß ist wie der Rohrdurchmesser, dann laufen die Wellen nach Reflexion an der gegenüberliegenden in einen Linienfokus 29 am Ort des beschränkten Wandlerarrays 2 zusammen.

Vorstehend wurde die Bestimmung des Empfangselementes mit der höchsten Intensität erwähnt. Stattdessen könnte auch ein Schwerpunkt an der Intensitätsverteilung des empfangenen Signals bestimmt werden und die Messauflösung somit verbessert werden. Im Allgemeinen gibt sich durch die Reflexionswölbung 13 eine Querschnittserweiterung und damit eine lokale Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit des strömenden Mediums in Strömungsrichtung 14 im Strömungsrohr 24. Dies kann im Einzelfall zu einer verstärkten Ablagerung von Partikeln wie z.B. Staub führen. Die Ablagerung von Staub und anderen im strömenden Medium mitgeführten Partikeln kann durch die in Figur 3 dargestellte Ausführungsvariante unterbunden werden. Durch die erfindungsgemäß vorgeschlagene Ausbildung eines verschränkten Wandlerarrays 2 ist eine alternierende Anordnung von Ultraschallwandlern möglich, die in der Weise abwechselnd als Sende- und Empfangs- Antennen wirken, dass alle emittierten Einzelschallwellen 27 zu gemeinsamen Ultraschallwellenfronten 28 interferieren können.

Der Vorteil der vorgeschlagenen alternierenden Anordnung liegt in einem dadurch erzielten deckungsgleichen, gegenseitig verschränkten Sende- und Empfangsbereich, wodurch in Kombination mit einer einzelnen Ultraschall-Reflexion innerhalb des Strömungsrohres 24 eine symmetrische Sende- und Empfangsanordnung erreicht werden kann. Die funktionale Aufteilung in Sende - und Empfangselemente ermöglicht dabei in vorteilhafter Weise eine Trennung zwischen den schwachen Sende- und den starken Empfangssignalen, deren Amplituden sich um mehrere Größenordnungen voneinander unterscheiden können. Die Symmetrie bezüglich Senden und Empfangen ermöglicht direkte Ultraschall-Rückreflexionen an einer symmetrisch zum Ultraschall-Wandlerarray ausgerichteten Fläche, ohne das beim Senden Phasenverschiebung zwischen den einzelnen Wandlerelementen erforderlich wäre.

25

Figur 4 ist ein Querschnitt durch ein Wandlerelement 4 zu entnehmen. In dem Siliziumsubstrat 11 sind einzelne Trenngräben 3 ausgebildet. An der Oberseite des Siliziumsubstrates 11 verlaufen die streifenförmigen Elektroden 5, oberhalb die PVDF-Folie 6 aufgebracht wird. Oberhalb der PVDF-Folie 6 befindet sich die flächige Gegenelektrode 7, die aus einem metallischen Material, zum Beispiel Gold, Aluminium oder Platin gefertigt wird. Optional kann auf die Oberseite der flächigen Gegenelektrode 7 eine Versiegelung 12 in Form einer Epoxidharz-Schutzschicht aufgebracht werden. Mit Bezugszeichen 10 ist die Oberseite eines in Figur 4 beispielhaft dargestellten Sendeelementes bezeichnet. Im Vergleich zu der Dicke der streifenförmigen Elektrode 5 beziehungsweise der flächigen Gegenelektrode 7 weist das Siliziumsubstrat 11, welches das Trägersubstrat darstellt, eine wesentlich größere Dicke auf.

Figur 5 sind von Sendeelementen 10 ausgehende Ultraschall-Einzelwellen 27 zu entnehmen, die sich aufgrund ihrer gegenseitigen Überlappung zu einer interferierenden Wellenfront 28

vereinigen. In der Darstellung gemäß Figur 5 verläuft die sich ausbildende interferierende Wellenfront 28 im Wesentlichen parallel. Im Gegensatz dazu verlaufen die in Figur 6 dargestellten Ultraschall-Einzelwellen aufgrund einer Phasenverschiebung zur Kollimierung ohne gewölbte Reflexionsfläche 13 als gekrümmte Wellenfronten 28.

5

10

Bezugszeichenliste

- |      |   |    |                            |
|------|---|----|----------------------------|
| 1    | Ultraschall-Strömungssensor                               | 36 | analoge Signalaufbereitung |
| 2    | verschränktes Wandlerarray                                |    |                            |
| 5    | 3 Trenngraben   |    |                            |
| 4    | Wandlerelement  |    |                            |
| 5    | streifenförmige Elektrode                                 |    |                            |
| 6    | PVDF- Folie   |    |                            |
| 7    | flächige Gegenelektrode                                   |    |                            |
| 10   | 8 Oberseite   |    |                            |
|      | 9 Unterseite  |    |                            |
| 10   | 10 Sendeelement   |    |                            |
| 11   | Siliziumsubstrat  |    |                            |
| 12   | Epoxidharz-Schutzschicht                                  |    |                            |
| 15   | 13 Reflexionsfläche                                       |    |                            |
|      | 14 Strömungsrichtung                                      |    |                            |
| 15   | 15 gesendetes Signal                                      |    |                            |
| 16   | 16 empfangenes Signal                                     |    |                            |
| 17   | 17 Hilfskreis   |    |                            |
| 20   | 18 Abstand (d) Array- Reflexionsfläche                    |    |                            |
|      | 19 Krümmungsradius Reflexionsfläche                       |    |                            |
| 20   | 20 Rohrdurchmesser  |    |                            |
| 21   | 21 Rohrverengung  |    |                            |
| 22   | 22 Wölbung Reflexionsfläche                               |    |                            |
| 25   | 23 Krümmung   |    |                            |
|      | 24 Strömungsrohr  |    |                            |
| 25   | 25 d <sub>1</sub> (Abstand in Strömungsverengung)         |    |                            |
| 26   |   |    |                            |
| 27   | 27 Ultraschall-Einzelwelle                                |    |                            |
| 30   | 28 interferierende Wellenfronten (gekrümmt oder parallel) |    |                            |
|      | 29.1 erster Linienfokus (ohne Strömung)                   |    |                            |
| 29.2 | zweiter Linienfokus (mit Strömung)                        |    |                            |
| 30   |   |    |                            |
| 31   | 31 Komparator   |    |                            |
| 35   | 32 Sample and Hold-Verstärker                             |    |                            |
|      | 33  |    |                            |
| 34   | 34 Signal-Multiplexer                                     |    |                            |
|      | 35 Multiplexer-Steuerung                                  |    |                            |

Patentansprüche

1. Ultraschallströmungssensor zur Messung des Volumenstromes eines strömenden Mediums durch einen Strömungskanal (24), mit einem Wandlerarray (2), welches innerhalb des Strömungsquerschnittes des Strömungskanales (24) angeordnet ist und welches Ultraschallwellen (27) generiert, die sich im Strömungsquerschnitt des Strömungskanales (24) quer zu einer Strömungsrichtung (14) des strömenden Mediums ausbreiten, dadurch gekennzeichnet, dass Ultraschall-Wandlerarray (2) eine verschränkte Anordnung von Wandlerelementen (4) aufweist, die abwechselnd als Sende- (10) und Empfangs-Elemente wirken, so dass alle emittierten Einzelschallwellen (27) zu gemeinsamen Wellenfronten (28) interferieren.
2. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Wandlerelemente (4) in das verschränkt ausgebildete Wandlerarrays (2) durch Trenngräben (3) voneinander entkoppelt sind.
3. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dem verschränkt ausgebildeten Ultraschall-Wandlerarray (2) eine von diesem um einen Abstand (18, 25) entfernte Reflexionsfläche (13) zu geordnet ist, die einen Krümmungsradius (19) aufweist.
4. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Krümmungsradius (23) der Reflexionsfläche (13) das Doppelte des Rohrdurchmessers (20) des Strömungskanals (17) beträgt.
5. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das verschränkt ausgebildete Ultraschall-Wandlerarray (2) an einer Querschnittsverengung eines Teilströmungsquerschnittes des Strömungskanales (24) bewirkenden Wand aufgenommen ist.
6. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die die Querschnittsverengung bewirkende Einschnürung des Strömungsrohres (24) der Reflexionsfläche (13) zuweisende Krümmungen enthält.
7. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dieser eine Auswerteschaltung umfasst, welche mittels eines steuerbaren Signal-Multiplexers die einzelnen Empfangselemente des verschränkten Wandlerarrays (2) abtastet, die empfangenen Signale einer analogen Signalaufbereitung (36) zuleitet, der ein Komparator (31) sowie ein Sample and Hold-Verstärker (32) nachgeschaltet sind.

8. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das ver-schränkte Wandlerarray (2) an einer Oberseite (8) streifenförmige Elektroden (5) auf-weist, die durch eine PVDF-Folie (6) von flächigen Gegenelektroden (7) getrennt sind.

5

9. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass oberhalb der flächigen Gegenelektrode (7) eine Versiegelung (12) ist.

10. Ultraschallströmungssensor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine  
10 Verschiebung eines Linienfokus (29) von einer ersten Position (29.1) an eine zweite  
Position (29.2) detektiert wird.

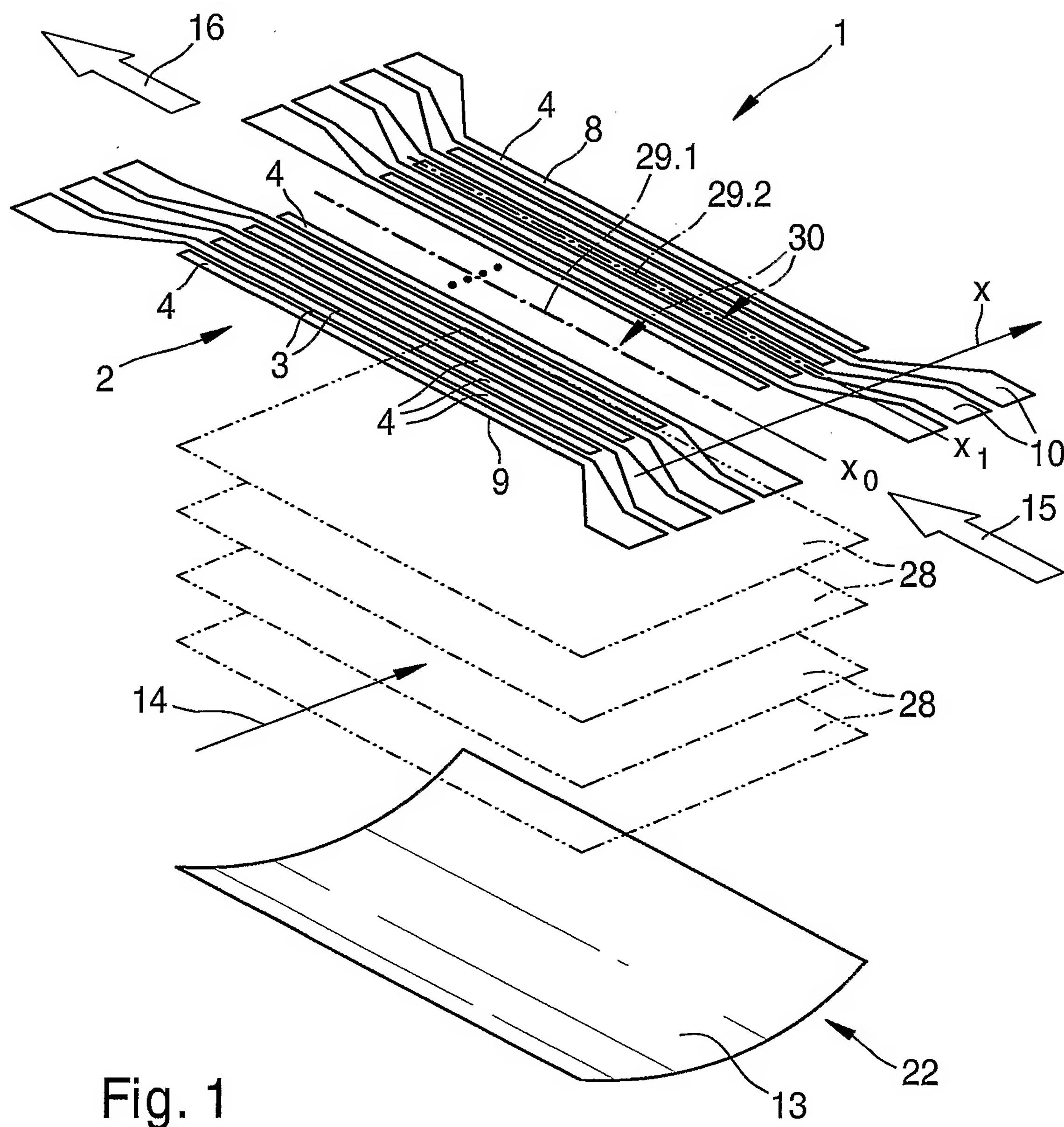


Fig. 1

2 / 4

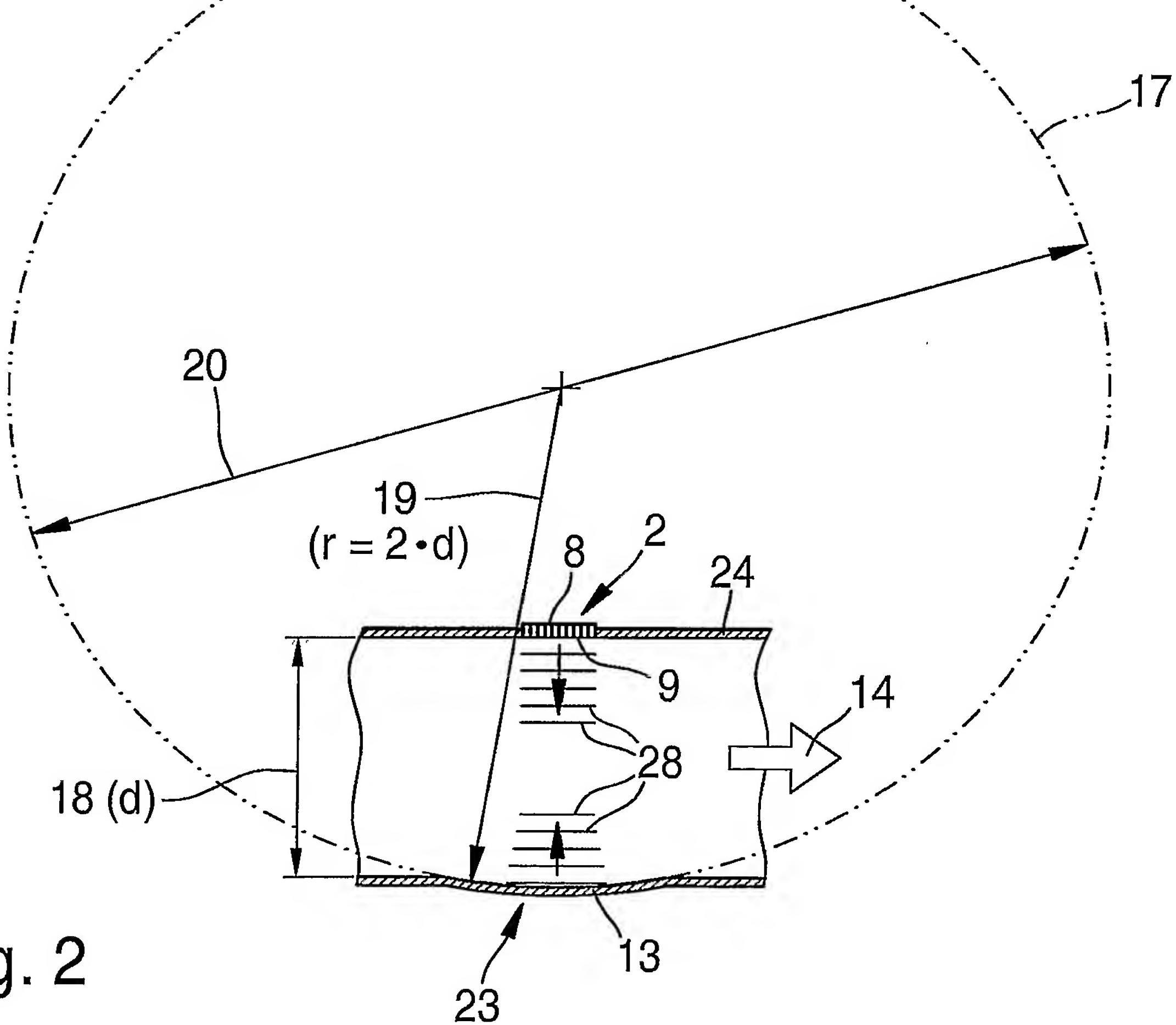
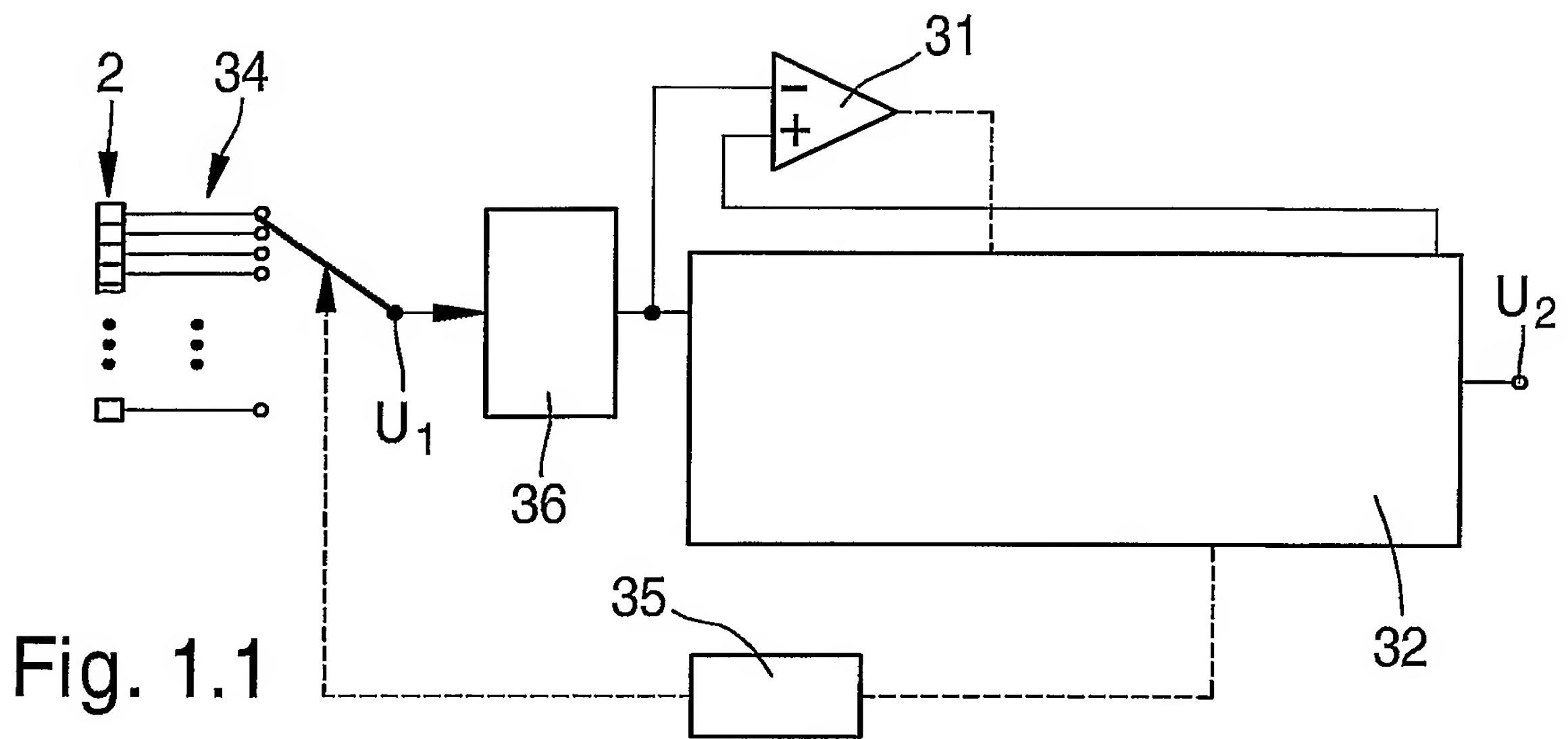


Fig. 3

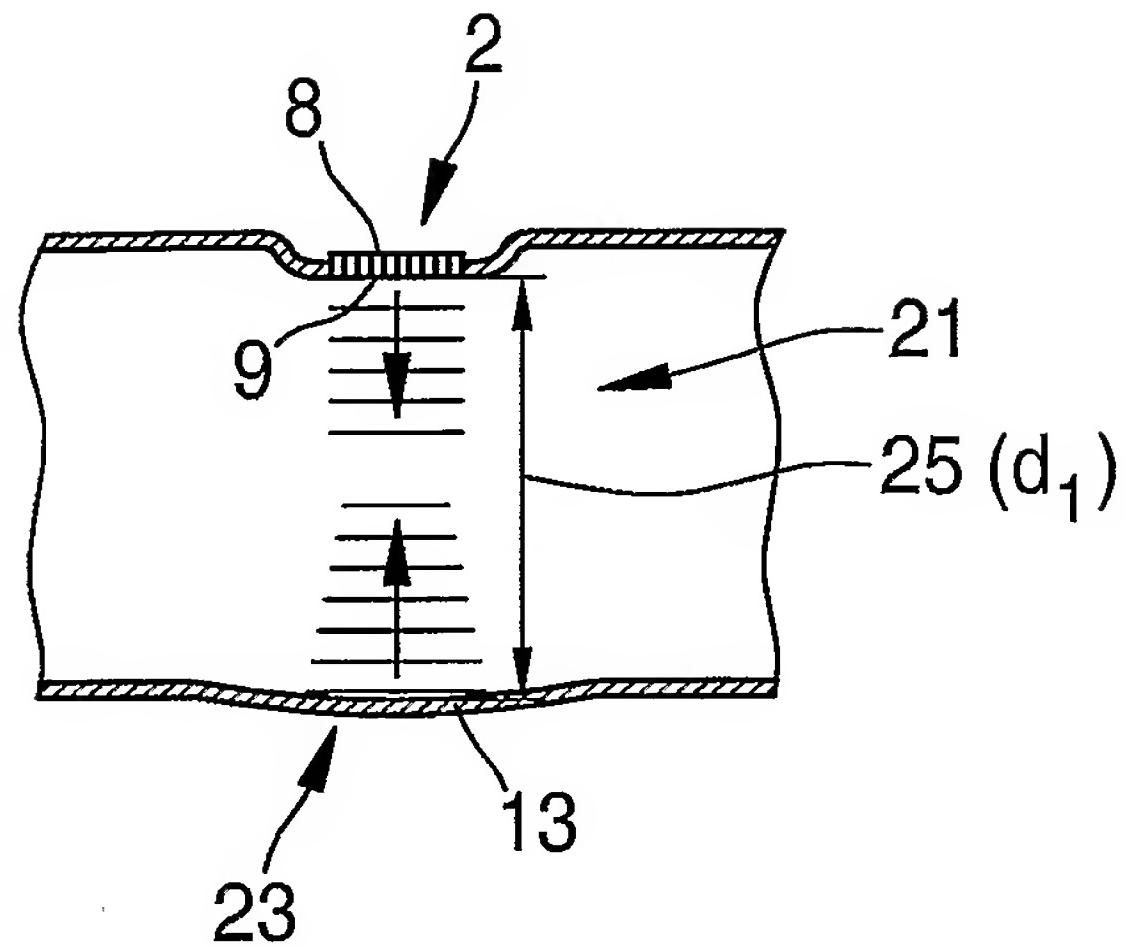
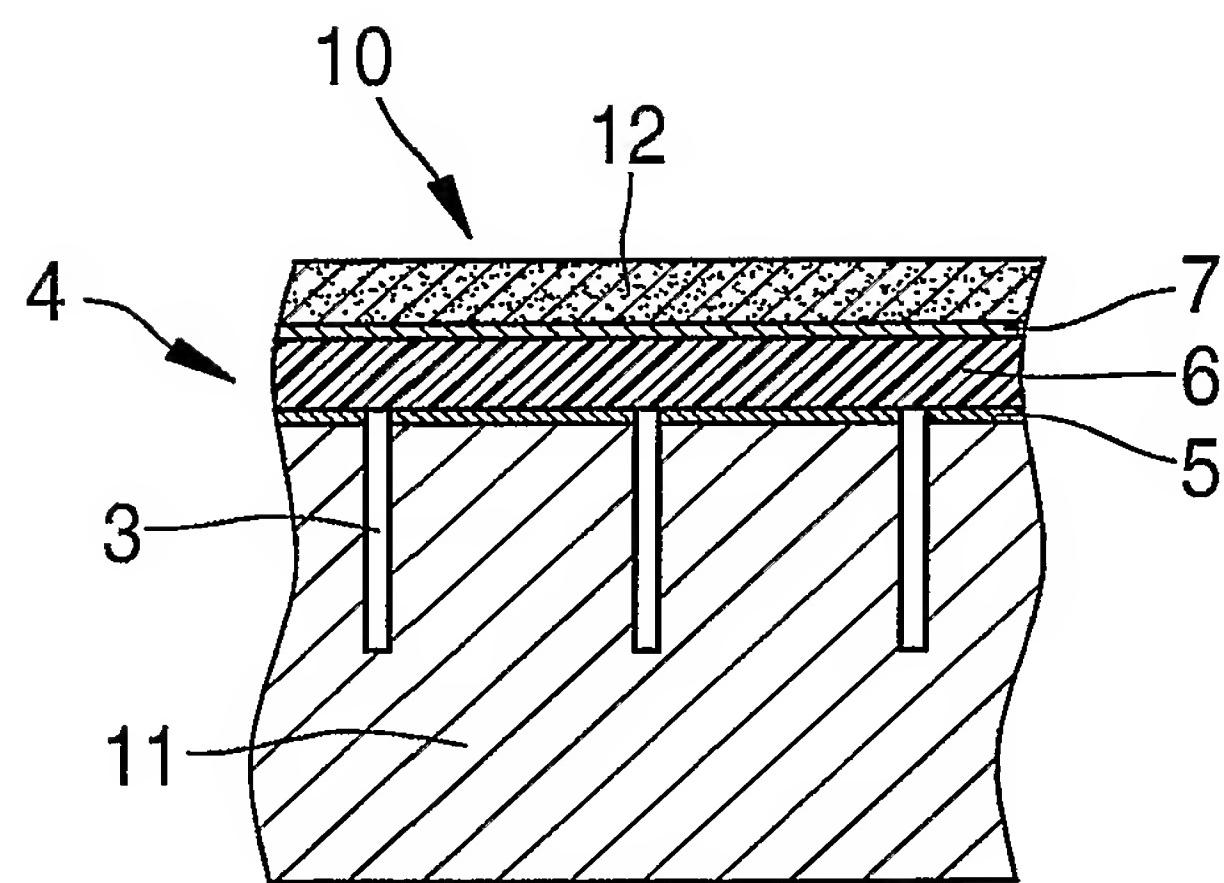


Fig. 4



4 / 4

Fig. 5

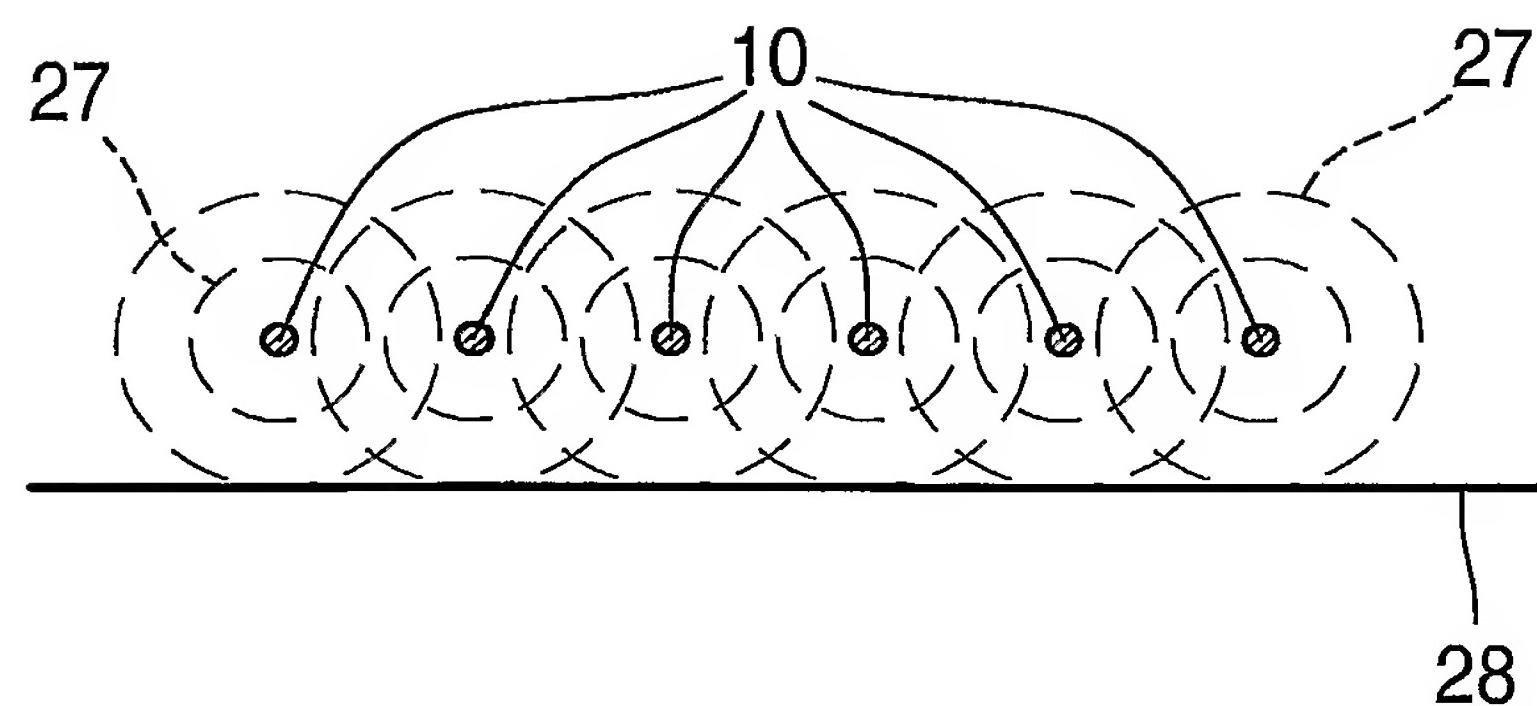


Fig. 6

